

А.М. РОЄНКО, д-р техн. наук, проф., Національний гірничий університет  
С.А. ХАРІН, д-р техн. наук, проф., В.М. КНУРЕНКО, старш. викладач  
КВНЗ «Інститут підприємництва «Стратегія» ДОР»

## АНАЛІЗ ТЕМПІВ БУДІВНИЦТВА СТВОЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ JAVA-ДОДАТКУ

**Мета.** Метою даної роботи є розробка програмного забезпечення та дослідження проблеми організації проходки стволів глибоких шахт під впливом зміни параметрів бурового устаткування і гірничо-геологічних умов, зокрема, зміни темпів будівництва. Необхідно також виконати аналіз отриманих в ході дослідження результатів, встановити закономірності зміни відповідних параметрів і виробити рекомендації щодо раціонального ведення прохідницьких робіт.

**Методи дослідження.** У роботі використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі будівництва шахт, теоретичні дослідження, що базуються на методах математичного моделювання.

**Наукова новизна.** Встановлено, що швидкість проходки виробки логарифмічно залежить від продуктивності бурового обладнання.

**Практична значимість.** Дана категорія складається в знаходженні оптимальних проектних рішень щодо будівництва комплексу виробок горизонтів на великих глибинах для діючих шахтах Криворізького басейну, що дозволяють забезпечити своєчасне введення горизонтів в експлуатацію.

**Результати.** Реконструкція виробничих потужностей шахт в умовах значних глибин розробки повинна супроводжуватись послідовними зусиллями в напрямку досліджень, що спрямовані на удосконалення всіх технологічних процесів, які вимагають відповідної автоматизації для забезпечення оперативності результатів. Аналіз схем розкриття глибоких залізрудних родовищ показує, що найбільш раціональним для умов Криворізького басейну є ступеневий розтин з використанням сліпих вертикальних стволів. Оптимальними є перш за все схеми розкриття, які дозволяють реалізувати можливість ведення робіт за допомогою кількох точок докладання робіт. Вказується, що такі схеми доцільні для використання в умовах шахт з великою протяжністю рудного тіла за простяганням. На основі розробленого програмного забезпечення встановлено, що швидкість проходки виробки логарифмічно залежить від продуктивності бурового обладнання. Відзначено також, що, починаючи з певного моменту, зростання продуктивності засобів буріння практично не призводить до збільшення темпів проходки ствола і подальше нарощування зусиль в цьому напрямку недоцільно.

**Ключові слова:** реконструкція, схеми, швидкість, спорудження, програмне забезпечення, мова Java.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-107-111

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Реконструкція виробничих потужностей шахт в умовах значних глибин розробки повинна супроводжуватись інтенсивними зусиллями в напрямку досліджень, спрямованих на вдосконалення всіх технологічних процесів, які вимагають відповідної автоматизації для забезпечення оперативного отримання результатів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз опублікованих робіт, які висвітлюють різні аспекти наукових досліджень, показує на значне число публікацій, присвячених вдосконаленню проектування глибоких шахт [1, 2]. В інших роботах отримані наукові результати, пов'язані з бурінням шахтних стволів як перспективному напрямку у шахтному будівництві, поліпшенню якості буропідричних робіт [3-8], а також комплексним питанням підземного будівництва [9, 10].

В цілому ж, аналіз літературних джерел, а також актуальних проблем будівництва залізрудних підприємств, показує, що питання впливу продуктивності бурового обладнання на тривалість прохідницького циклу і, відповідно, швидкість проведення стволів, незалежно від їх призначення, на сьогодні опрацьовані недостатньо детально.

**Постановка задачі.** Розробити програмне забезпечення та дослідити вплив продуктивності бурового обладнання на швидкість проведення стволів, виконати відповідний аналіз, встановити закономірності і виробити рекомендації.

**Викладення матеріалу і результати.** Сстійке функціонування гірничого виробництва є умовою ефективного розвитку економіки України. Завдання реконструкції виробничих потужностей в умовах значних глибин розробки повинне супроводжуватись інтенсивними зусиллями в напрямку досліджень, спрямованими на вдосконалення всіх технологічних процесів, які вимагають відповідної автоматизації для забезпечення достовірності результатів.

Сучасний етап функціонування залізрудної промисловості України характеризується, зокрема, наступним:

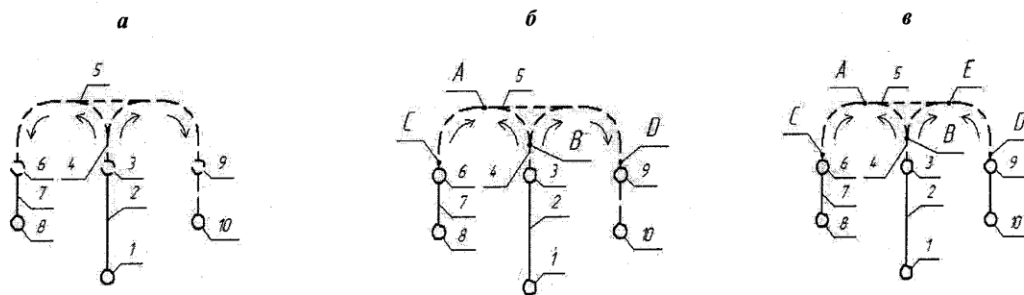
1. Вичерпанням багатих легкодоступних родовищ корисних копалин.
2. Великою глибиною ведення робіт на кар'єрах, проблемами, пов'язаними з масштабами і темпи розкривних робіт.
3. Екологічним збитком, пов'язаним з діяльністю гірничо-збагачувальних комбінатів.
4. Наростанням собівартості продукції при відкритому способі розробки бідних руд і їх подальшому збагаченню, з огляду на застосування енерговитратних технологій.
5. Значною потребою металургійних підприємств України в залізородній сировині.
6. Необхідністю забезпечення критично важливих експортних поставок металургійної і залізородної продукції, що посилюється неможливістю експорту високотехнологічної продукції.

Зазначене дозволяє припускати можливість в перспективі розробки на великих глибинах (понад 1500 м) природно-багатих залізних руд на діючих шахтах Криворізького басейну з використанням другої і більш високих ступенів розкриття родовищ. У зв'язку зі збільшенням глибини видобутку корисних копалин важливою і складною проблемою є розкриття і розробка родовищ на вельми великих глибинах за допомогою використання декількох ступенів розкриття. Родовища залізних руд у Криворізькому басейні в різний час розкривалися вертикальними і конвеєрними стволами; в тій чи іншій мірі використовувалася їх комбінація.

Аналіз застосування способів розкриття родовищ, виконаний, зокрема, з урахуванням робіт [1,2], дозволив встановити наступне. Вертикальні стволи можуть бути пройдені високими темпами, використані одночасно для підйому руди, породи, для провітрювання, доставки матеріалів і устаткування, спуску-підйому людей, прокладки трубопроводів і кабельних ліній. Проходка вертикальних стволів більш безпечна навіть у умовах високого гірського тиску і гірських ударів.

Конвеєрні стовбури потрібно проходити відразу в запроєктованому комплексі на глибину черги, а потім нести експлуатаційні витрати в повному обсязі незалежно від обсягів видобутку руди. При конвеєрному підйомі велику частку у витратах становлять амортизація капітальних вкладень, вартість конвеєрних стрічок, роликів, витрати на електроенергію і обслуговування стволів. Необхідні також додаткові стволи для подачі повітря в шахту і виконання допоміжних операцій. Для перевантажувальних вузлів необхідні великі камери, що допустимо в особливо міцних породах і на обмежених глибинах.

Як видається в зв'язку з цим, для умов глибоких шахт можна рекомендувати розкриття горизонтів із застосуванням сліпих вертикальних стволів. Для різних умов розвиток робіт може здійснюватися за такими схемами (рис. 1).



**Рис. 1.** Будівництво горизонту другого рівня з використанням: *a* - однієї точки прикладення робіт (від головного ствола); *b* - двох точок прикладення робіт (від головного ствола і одного з флангових); *v* - трьох точок прикладення робіт (від головного ствола і обох флангових); 1- головний ствол горизонту першого рівня розтину; 2- головний квершлаг горизонту першого рівня розтину; 3 - головний сліпий вертикальний ствол, що розкриває горизонт другого рівня; 4 - головний квершлаг горизонту другого рівня розтину; 5 - штреку горизонту другого рівня розтину; 6, 9 - флангові сліпі вертикальні стволи, що розкривають горизонт другого рівня; 7- вентиляційний квершлаг горизонту першого рівня розтину; 8, 10 - флангові стволи горизонту першого рівня розтину; 11, 12 - тимчасові приштрекові сліпі стволи; А, Е - точки зустрічі; ← - напрямки розвитку прохідницьких робіт

Становлять інтерес насамперед схеми, що дозволяють реалізувати можливість ведення робіт по будівництву горизонту другого рівня за допомогою декілька точок прикладення робіт і доцільні для використання в умовах шахт з великою протяжністю рудного тіла за простиранням.

Для своєчасного розкриття нижчих горизонтів забезпечення заданих темпів проходки гірських виробок є важливим завданням, яке пов'язане з ритмічної організацією робіт. Оскільки на швидкість проходки виробок в більшості випадків, особливо, в міцних породах і при значній площі поперечного перерізу, помітний вплив чинять бурові роботи актуальним, як видається, може бути дослідження залежності швидкості проходки стволів від продуктивності бурового обладнання. У цьому зв'язку становить інтерес розробка методів досліджень, відповідного програмного забезпечення, які дозволили б служити в якості інструментів вивчення питань організації будівництва.

Для ефективного ходу процесу дослідження потрібно мати програмне забезпечення високої якості, яке відповідає, зокрема, таким вимогам (рис. 3), які пов'язані з характеристиками і атрибутами якості згідно з ISO 9126:2001.



Рис. 3. Складові якості програмного забезпечення

З урахуванням вказаного стандарту якості програмного забезпечення для проведення досліджень нами розроблені комп'ютерна програма мовою Java [11-12], алгоритм якої представлений на рис. 4.

Розглянемо залежність швидкості проведення стволів від експлуатаційної продуктивності бурового обладнання за таких умов: проходка здійснюється звичайним способом із за-

стосуванням буропідричних робіт по поєднаню схемою.

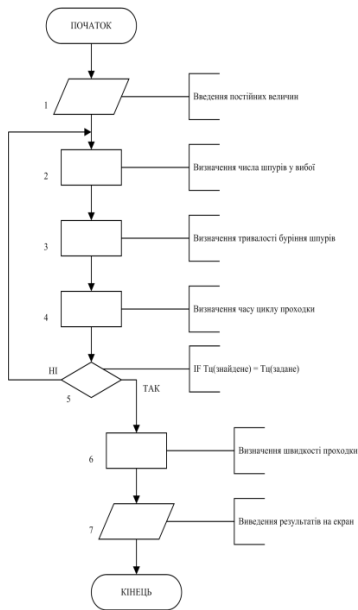


Рис. 4. Алгоритм програми

Стволи закріплені монолітним бетоном. Для ствола діаметром в проходці  $D=6$  м в породах з коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М.М. Протодьяконова  $f=12$  та експлуатаційної продуктивності (позначимо її  $P$ ) бурового обладнання 6 м/год (див. рис. 3) має місце швидкість проходки гірничої виробки 14,1 м/міс (прийнемо її за базову для даних умов).

Перехід до більшої продуктивності засобів буріння, при незмінних інших умовах, збільшує темпи проходки виробки. Так, наприклад, при експлуатаційній продуктивності 8 м/год швидкість проходки виробки зростає до 15,84 м/міс. При експлуатаційній продуктивності 12 м/год швидкість збільшиться до 18,04 м/міс. Високі рівні продуктивності бурового обладнання сприяють досягненню помітно більших темпів проходки. Так, при  $P=24$  м/год швидкість зростає до 20,9 м/міс. Характер залежності  $v$  від  $P$  для ствола  $D=6$  м при  $f=12$  може бути описаний логарифмічним виразом  $v=4,3\text{Ln}(P)+7,11$ . Аналогічним чином розглянемо залежність  $v$  від  $P$  при збільшенні  $f$  до 18. У цьому випадку при відповід-

них значеннях експлуатаційної продуктивності бурового обладнання будуть мати місце більш низькі швидкості проходки, а загальний характер залежності  $v$  від  $P$  прийме вигляд  $v=5,17\text{Ln}(P)+2,87$ .

Досліджуємо далі аналогічним чином вплив експлуатаційної продуктивності бурового обладнання на швидкість проходки ствола  $D=8$  м, при  $f=12$  і 18.

У цьому випадку в цілому будуть повторюватися тенденції, відмічені нами раніше для ствола  $D=6$  м, але при менших рівнях  $v$  для даних значень  $P$ . Характер залежності  $v$  від  $P$  для ствола  $D=8$  м при  $f=12$  і  $f=18$  і може бути описаний відповідно виразами  $v=2,64\text{Ln}(P)+5,17$  і  $v=3,09\text{Ln}(P)+2,86$ .

Розглянемо тепер ступінь зміни швидкості проходки (позначимо  $\Delta$ ) ствола  $D=6$  м при переході від  $f=12$  до  $f=18$ . При  $P=6$  м/год швидкість проходки ствола при  $f=12$  буде в 1,205 рази вище, ніж при  $f=18$ . Співвідношення швидкостей при більш високих значеннях  $P$  буде поступово зменшуватися. При досить великих значеннях експлуатаційної продуктивності бурового об-

ладнання співвідношення швидкостей проходки ствола істотно знизиться, так, наприклад, при  $P = 30$  м/год воно складе 1,06 рази. У загальному випадку співвідношення швидкостей проходки ствола  $D = 6$  м і при  $f=12$  і  $f=18$  можна описати залежністю  $\Delta = -0,0879 \ln(P) + 1,35$ . У разі  $D=8$  м при  $P=6$  м/год  $\Delta = 1,184$ ; при  $P=30$  м/год  $\Delta = 1,059$ . У загальному вигляді залежність співвідношення швидкостей для ствола  $D=8$  м виглядає як  $\Delta = -0,079 \ln(P) + 1,31$ .

Досліджуємо зміну співвідношення швидкостей (позначимо  $Z$ ) при  $D=6$  і  $D=8$  м при відповідних рівнях коефіцієнта міцності порід. У той час як співвідношення площ перетину розглянутих стволів становить 1,77 співвідношення швидкостей при  $f=12$  і  $P=6$  м/год дорівнюватиме  $Z=1,47$ , а в разі  $P=30$  м/г зросте до  $Z=1,54$ .

Схожа картина спостерігається і для випадку  $f=18$ . У загальному вигляді зміну співвідношення швидкостей може бути описано виразами  $Z = 0,0028 + 1,47P$  в разі  $f=12$  і  $Z = 0,0034 + 1,44P$  в разі  $f=18$ . Для наочності зведемо отримані раніше залежності в табл. 1.

Таблиця 1

Залежності швидкості проходки ствола від продуктивності бурового обладнання

Параметр	Діаметр ствола в проходці, м	Коефіцієнт міцності порід, $f$	Залежність	Висновки
Залежність $v$ від $P$	6	12	$v = 4,3027 \ln(P) + 7,11$	Швидкість проходки логарифмічно залежить від продуктивності бурового обладнання. При зростанні $f$ знижується $v$ . Відношення швидкостей, наприклад, $v_{30}/v_6$ при більш високому $f$ вище.
		18	$v = 5,1741 \ln(P) + 2,87$	
	8	12	$v = 2,6461 \ln(P) + 5,17$	
		18	$v = 3,0919 \ln(P) + 2,86$	
Співвідношення швидкостей при $f=12$ і $f=18$	6	-	$\Delta = -0,0879 \ln(P) + 1,35$	При зростанні $P$ і збільшенні $f$ від 12 до 18 співвідношення швидкостей $\Delta$ знижується.
	8	-	$\Delta = -0,0796 \ln(P) + 1,31$	
Співвідношення швидкостей при $D=6$ м і $D=8$ м	-	12	$Z = 0,0028 P + 1,47$	При збільшенні $D$ від 6 до 8 співвідношення швидкостей $Z$ зростає із збільшенням $P$ .
	-	18	$Z = 0,0034 P + 1,44$	

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Перевагою об'єктно-орієнтованого програмування є краща модульність програмного забезпечення, велику кількість функцій процедурної мови можна замінити досить обмеженою кількістю класів із своїми методами. Таке програмування є ефективним інструментом розробки програм для дослідження процесів шахтного будівництва. Показані ефективні схеми розкриття горизонтів глибоких шахт.

В ході дослідження також, на основі розробленого програмного забезпечення, встановлено, що швидкість проходки виробки логарифмічно залежить від продуктивності бурового обладнання. Відзначено також, що, починаючи з певного моменту, зростання продуктивності засобів буріння практично не приводить до збільшення темпів проходки ствола і подальше нарощування зусиль у цьому напрямку недоцільно. У ході подальших досліджень було б корисно розробити відповідні програми і розглянути питання про залежність оптимальних організаційних параметрів спорудження протяжних виробок від різних факторів.

#### Список літератури

1. Агошков М.И., Малахов Г.М. Подземная разработка рудных месторождений. М., «Недра», 1966, 663 с.
2. Титов В.Д. Основы проектирования глубоких железорудных шахт. М., «Недра», 1977, 229 с.
3. Левит В.В., Горелкин А.А. Бурение шахтных стволов как перспективное направление в шахтном строительстве // Вісник КрНУ. – Кременчук: КДПУ, 2012. – Вип. 2/2012 (73). – С. 104–110.
4. Терентьев О.М., Стрельцова І.М. Математична модель управління питомою поверхневою енергією руйнування гірських порід // Вісник КрНУ. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 3/2013 (80). – С. 153–157.
5. Калякин С.А., Шкуматов А.Н., Лабинский К.Н. Управление разрушающим действием взрыва уклоненого шпурового заряда взрывчатого вещества // Вісник КрНУ. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 2/2013 (79). – С. 78–82.
6. Использование многоточечного иницирования скважинного заряда для улучшения проработки подошвы уступа / В.В. Воробьев, В.Т. Щетинин, А.М. Пеев // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія “Гірництво”: збір. наук. праць. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2003. – Вип. 9. – С. 63–65.
7. Исследование влияния формы заряда в донной части шпура на изменение прочностных свойств среды при взрыве / В.В. Воробьев, А.М. Пеев // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДУ, 2009. – Вип. 2/2009(4). – С. 35–39.

8. Бротанек И., Вода Й. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. Перев. с чешск. под ред. Б.Н. Кутузова. – М.: Недра, 1983. – 144 с.
9. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. – М.: Недра, 1977. – 400 с.
10. Смирняков В.В., Вихарев В.И., Очкуров В.И. Технология строительства горных предприятий. – М.: Недра, 1989. – 573 с.
11. Лонг Ф., Мохиндра Д., Сикорд Р., Сазерленд Д., Свобода Д. Руководство для программиста на Java: 75 рекомендаций по написанию надежных и защищенных программ. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2014. – 256 с.
12. Хорстман, С., Корнелл Г. Java 2. Библиотека профессионала. Основы. Пер. с англ. под ред. В.В. Вейтмана. – М.: Вильямс, 2007. – 896 с.

Рукопис подано до редакції 11.03.17

УДК 622.245.42

В.М. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц, А.М. ПОХИЛКО, асистент,  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

## МОДЕЛЮВАННЯ МІЦНОСТІ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ З ПОЛЕГШЕНОГО ТАМПОНАЖНОГО МАТЕРІАЛУ

**Метою** даної роботи є одержання статистичної математичної моделі цементного каменю, отриманого з полегшеного тампонажного матеріалу на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 з домішкою полегшувальної добавки і використання її для прогнозування міцнісних характеристик утвореного цементного каменю залежно від складу тампонажного розчину та умов його тужавіння. Зокрема, ставиться задача встановлення впливу на міцність тампонажного каменю добавки – спученого перлітового піску.

**Методи дослідження.** Для одержання статистичної моделі використано ротатабельний центральномісний план експерименту. Обробку результатів проведено із застосуванням методу комп'ютерного математичного моделювання за допомогою системи STATGRAPHICS Plus for Windows.

**Наукова новизна.** Встановлено, що гіперповерхня  $G(X_1, X_3)$  має точку екстремуму, що дозволяє оптимізувати за факторами  $X_1, X_3$  склад тампонажної суміші.

**Практична значимість.** Результати, отримані в даній роботі дають можливість прогнозувати міцнісні характеристики каменю з полегшеного і легкого тампонажного матеріалу на основі стандартного тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 з домішками спученого перлітового піску.

**Результати.** Одержана статистична математична модель міцності цементного каменю з полегшеного (легкого) тампонажного матеріалу на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і модифікатора-наповнювача спученого перлітового піску залежно від складу цементного розчину і умов тужавіння. На основі аналізу результатів моделювання показано, що введення полегшувальної добавки до тампонажної суміші в кількості до 11 % на суху масу негативно не впливає на міцність цементного каменю. З отриманих гіперповерхонь і контурних кривих визначено характер та ступінь впливу кожного з членів полінома на цільову функцію – міцність цементного каменю  $G(X_1, X_2, X_3)$ . Найбільш значимим є фактор  $X_2$  - водосумішеве відношення. Далі за значимістю члени моделі-полінома розміщуються в наступному порядку:  $X_3, X_3^2$ , а при довірчій імовірності 90% цей ряд має вигляд:  $X_2, X_3, X_3^2, X_1^2$ .

Максимальна міцність тампонажного каменю  $G=5,98$  МПа має місце в точці оптимуму з координатами:  $X_1=0,00589592$ ;  $X_2=-1,68178$ ;  $X_3=1,55811$ .

**Ключові слова:** полегшений тампонажний матеріал, спучений перлітовий пісок, ротатабельний центральномісний план експерименту, моделювання міцності, Парето-графік, поверхні відгуку, рівняння регресії.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-111-117

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На території України в кожному нафтогазоносному регіоні зустрічаються пласти з аномально-низькими пластовими тисками, а також пласти, складені карбонатними (тріщинуватими) та іншими породами, що мають високу поглинальну здатність. При кріпленні свердловин в таких гірничо-геологічних умовах постає задача зниження тиску стовпа тампонажного розчину на пласти з метою запобігання поглинань. Вирішення цієї технологічної задачі лежить в площині застосування легких (<1400 кг/м<sup>3</sup>) і полегшених (1400-1650 кг/м<sup>3</sup>) тампонажних розчинів [1-4].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Тампонажні цементні з пониженою густиною цементного розчину належать до модифікованих матеріалів. До найбільш поширених способів зниження густини тампонажних розчинів належать [4-6]:

добавка легкого наповнювача або використання в'язучої речовини з меншою густиною;